



A városi területek vízmérlege

Unger János

A természetes vizek várostelepítő tényezőknek számítana. Sok település édesvizek mellett helyezkedik el, mert a kisebb-nagyobb folyók, tavak víznyerési és pihenési lehetőséget biztosítanak. Emellett fontos közlekedési útvonalat jelenthetnek a hajózás számára, a kialakult folyóvölgyek pedig könnyebbé teszik a vasútvonalak és a közutak megépítését. Sajnos a folyóvizeket sok esetben – olcsó megoldásként – a városok által termelt szennyezőanyagok eltávolítására is felhasználják. A nagyvárosokban az optimális vízgazdálkodás megvalósítása az egyik legnagyobb gondot jelentő feladat.

A természetes felszínnek talaj-növény-levegő rétegének, mint rendszernek a vízmérlege a következő tényezőkből tevődik össze:

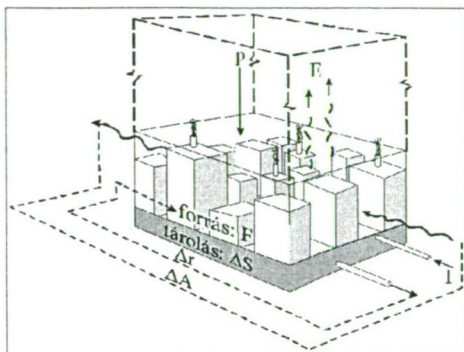
$$p = Et + \Delta r + \Delta S + \Delta A \quad (1)$$

ahol p a csapadék, Et az evapotranspiráció (a növényzet és az egyéb felszínnek együttes párá kibocsátása), Δr a nettó lefolyás, ΔS a rétegben tárol vízmennyiség növekedése vagy csökkenése és ΔA az advekció útján a rétegbe oldalirányból belépő vagy kilépő (levegőben szállítódó) vízcseppek és vízpára nettó mennyisége. A városi felszín talaj-épület-növény-levegő rendszerének vízmérlege a természeteshez képest újabb tagokkal bővül:

$$p + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A \quad (2)$$

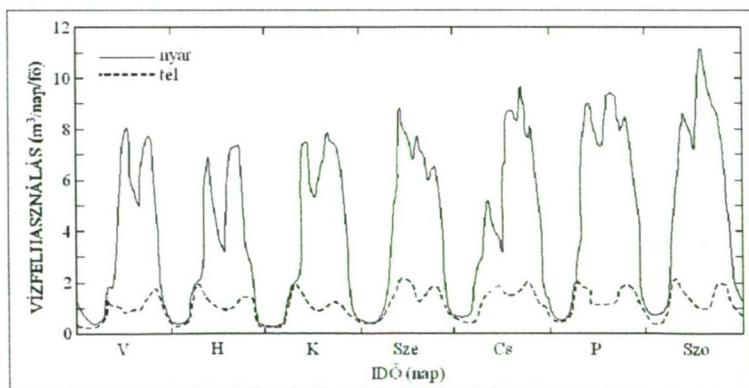
ahol F – az antropogén folyamatok által a városi légtérbe jutó víz és I – a folyókból, víztározókból és egyéb víznyerő helyekről a városba szállított víz. A mérleg arra a rétegre vonatkozik, amely addig a talajmélységéig terjed ki, ahol a függőleges értelembe vett átszivárgás (f) elhanyagolható (1. ábra).

Az antropogén tényező (F) egyrészt az ipari termelésnél, a közlekedésnél és a háztartásoknál végbemenő égési folyamatok melléktermékeként felszabaduló vízpárát összegzi, ugyanis a fosszilis tüzelőanyagok (földgáz, fűtőolaj, üzemanyagok és szén) elégetésekor jelentős mennyiségű vízpára szabadul fel. Másrészt a hőcserőműveknél és különböző ipari folyamatoknál alkalmazott hűtőtornyok, hűtőtavak és -folyók által nagymértékben megnövelt párolgás révén keletkező víz is ide tartozik.



1. ábra. A városi felszín (réteg) vízmérlegének tényezői vázlatosan (Oke, 1987 után)

A távolabbi vidékekről vagy mélyebb rétegekből (pl. rétegvíz) a rendszerbe szállított vízre (I) a lakossági, ipari és egyéb (pl. turisztikai, rekreációs) felhasználók megnövekedett igénye miatt van szükség, amiket a város területén található víznyerő helyek már nem, vagy nem megfelelő szinten (pl. szennyezettség miatt) tudnának csak kielégíteni. Ezt a vízforgalmat viszonylag könnyű számszerűsíteni a szolgáltatók adatai alapján. A 2. ábra a vízfogyasztás mennyiségének évszakos és napi menetét mutatja be egy kisebb kaliforniai település példáján keresztül. A tél és a nyár közötti erős évszakos különbség a kertek öntözésére, az úszómedencék feltöltésére és az autómosásra leginkább nyáron felhasznált nagymennyiségű vízből adódik. A napi meneten belül a fogyasztás természetesen a nappali órákban a legnagyobb, reggeli és esti csúcsokkal. Végül ez a vízmennyiség a rendszert lefolyás és evapotranspiráció útján hagyja majd el. Az F és az I olyan anyagáramlások, amelyeket közvetlenül emberi döntések szabályoznak és az emberi tevékenységek általános ritmusával vannak összhangban.



2. ábra. Egy kisebb település napi vízfelhasználásának változása télen és nyáron (Creskide Acres, Kalifornia) (Oke, 1987 után)

A következőkben összehasonlítjuk a városi (talaj-épület-növény-levegő) rendszer vízmérlegét a környező, nem urbanizált vidék természetes (talaj-növény-levegő) rendszerének vízmérlegével. Az egyszerűbb tárgyalás érdekében feltételezzük, hogy mindkettő jelentős horizontális kiterjedéssel bír, valamint az adott rendszeren belül a felszíni összetevők szerkezete hasonló, és nem változik jelentősen a hellyel. Ebben az esetben az advektív tényező (DA) mindkét esetben elhanyagolható.

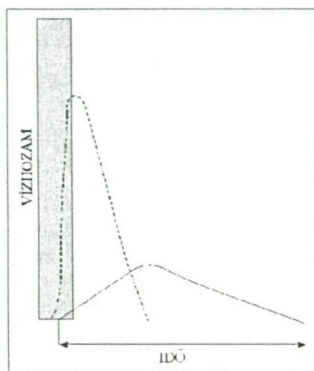
A városi rendszer vízbevétele nagyobb a természetesénél, mivel a (2) egyenlet bal oldalán az F és I tényezők még hozzáadódnak a csapadék (p) mennyiségéhez, amennyiben eltekintünk a mezőgazdasági földek esetleges öntözésétől. Egyébként a város közelében, az antropogén eredetű kondenzációs magvak többlete miatt, megemelkedhet a csapadékösszeg. Az erre irányuló vizsgálatok szerint ez különösen igaz a záporos csapadékokra, az eredményekből levont következtetések azonban egyelőre eléggé bizonytalanok. Másrészt, általában a városi evapotranspiráció (E) és a DS kisebb mértékű, mint vidéken. Az E azért lesz kisebb, mert a településeken az eredeti növényzetborítottság nagy része megszűnik és a növényzet helyére viszonylag kis áteresztőképességű építőanyagokból álló objektumok kerülnek. Habár a város összetett felszíne egy megnövekedett felfogófelületet jelent a csapadék számára, a városi anyagok rossz vízáteresztő képessége ezt jelentősen ellensúlyozza, emiatt a felszín alá bejutó és így ott tárolt víz mennyisége kisebb a vidékinél.

Az előbbiek alapján mivel a vízmérleg egyenletében a bal és a jobb oldalon egyenlő mennyiségek állnak, a városi területeken a lefolyás (Dr) nagyobb, mint a természetes esetben. Részben ez egyszerűen következik abból, hogy a beszállított víz (I) egy része szennyvízként távozik a megfelelő csatornarendszeren keresztül. A növekmény másik része – az urbanizáció velejárója – az előbb említett felszíni építőanyagok „vízállóságából” és a mesterségesen kiképzett vízvezető árkok és csatornák működéséből származik.

Az egyik legsúlyosabb, időjárással kapcsolatos katasztrófát a városokban fellépő áradások jelentik a nagyszámú áldozat és a hatalmas anyagi károk miatt. Habár az egész vízgyűjtőterület hozzájárul a vízmennyiség megnövekedéséhez, a város jelentősen felerősíti és felgyorsítja az árhullám kialakulását. Ennek oka, hogy az eredetileg vízáteresztő talaj helyére vízátnemeresztő utak, járdák, parkolók és tetők kerülnek, amelyek lerövidítik az eső- vagy olvadékvizek eljutásának idejét a vízfolyásokba. A lakó- és üzleti negyedekben létesített elvezető árkok és csatornák ezt az időt tovább csökkentik, aminek elsődleges hasznaként gyorsan szárazzá és így használhatóvá válnak a közlekedési útvonalak, viszont az esetlegesen kialakuló magasvíz (árvíz) kockázata jelentősen megnő.

A természetes felszínek elősegítik a csapadék beszivárgását a talajba, ahol részben eltárolódik, részben pedig továbbáramlik a talajvíz szintjébe. Még nagyon heves esőzések esetében is eléggé mérsékelt a lefolyás. Növényzettel borított területeken időleges jelleggel sok víz fogódik fel a leveleken és ágakon, majd onnan párolog el. Az erdei avar különösen hatékony víztároló közeg. Ebből az következik, hogy egy adott

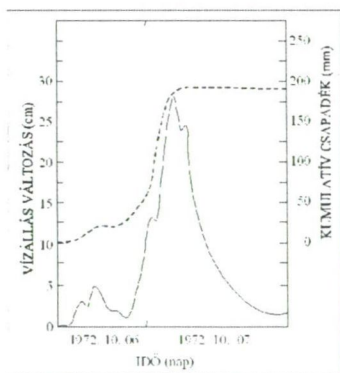
területen a lefolyás mértékét a heves esőzések idején a vízáteresztő és vízátnemeresztő felszínek aránya szabályozza. Ezt az arányt nem könnyű meghatározni, leginkább légi- és űrfelvételek kiértékelése segíthet ebben.



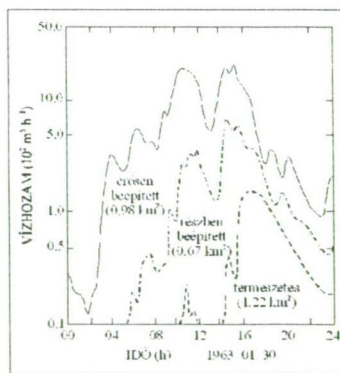
3. ábra. Intenzív esőzés (szűrke oszlop) által okozott áramlás vízhozamának időbeli menete városi (---) és vidéki (—) területen (Landsberg, 1981 után)

A vízhozam időbeli menetét hidrográf segítségével lehet nyomon követni, amelyről leolvasható a mérőpontnál egységnyi idő alatt átáramló víz mennyisége. A 3. ábra az intenzív esőzés hatására a hidrográf görbéjén tapasztalható változásokat mutatja be vázlatosan egy olyan vízgyűjtő medence esetében, ahol először még természetes a felszín, majd az erős városiasodás hatására jelentősen megnő a vízátnemeresztő felületek aránya. A természetes felszín esetében a vízhozam viszonylag lassan emelkedik, mivel a lehulló víz nagy része eltárolódik a talajban, illetve elpárolog. A tetőzés mérsékelt, majd utána lassú az apadás. Ezzel ellentétben a városi felszínnél a vízhozam emelkedése igen meredek és magas a tetőzési szint, amit gyors csökkenés követ. Ez a hirtelen áradat veszélyes lehet az alacsonyabban fekvő városrészekre.

Hogy az előbbi elméleti görbe mennyire tükrözi a valóságot, azt egy nem túl régen urbanizálódott területen észlelt adatok is alátámasztják. A vizsgált lakónegyedben a felszín 30%-a volt vízátnemeresztő és a városi csatornák egy kis vízfolyásba csatlakoztak. A megfigyelt esetben kb. 3 óra alatt 193 mm záporos csapadék hullott le, ami szinte azonnal a vízfolyás szintjének 27,4 cm-es emelkedését idézte elő (4. ábra).



4. ábra. A vízfolyás szintje (—) és a csapadék intenzitása (---) közötti kapcsolat (Landsberg, 1981 után)



5. ábra. Az urbanizáció hatása a viharos esőzés csapadékvízének lefolyására három eltérő (természetes, részben beépített és sűrűn beépített) felszínű medencéből származó adatok alapján (Palo Alto, Kalifornia) (Oke, 1987 után)

Ezt a városi hatást az 5. ábra szemlélteti, amely összehasonlítja egy viharos esőzés után lefolyó víz hozamának változásait három kisebb vízgyűjtő medencében: az egyik vidéki, természetes felszínű, a másik részben beépített, míg a harmadik sűrűn beépített, városias jellegű. A korábbi vizsgálatok eredményei szerint, mielőtt az urbanizáció elérte ezeket a területeket, a csapadékvíz lefutásának görbéi hasonlóak voltak, vagyis a vízhozam tetőzése a vihar után gyakorlatilag ugyanabban az időben következett be, és a hozamok nagysága a medence (a vízgyűjtő terület) nagyságával volt arányos. Az urbanizáció után a görbék menetében két jelentős változás figyelhető meg. Egyrészt, a városiasodott medence sokkal gyorsabban reagál a vihar által előidézett vízbevitelre, vagyis a vízhozam tetőzése jóval hamarabb következik be. Másrészt, a lefolyás mértéke a városiasodás fokával és nem a medence méretével összhangban nő, ugyanis a legnagyobb (természetes felszínű) medence esetében jelentkezik a legkisebb vízhozam, mind a tetőzés, mind pedig a lefolyás teljes mennyisége tekintetében. Ezek az eltérések arra is rámutatnak, hogy a biztonság érdekében a városi elvezető csatornákat úgy kell tervezni, hogy képesek legyenek rövid idő alatt igen nagy mennyiségű vizet elvezetni. Más hidrológiai tanulmányok arra is rámutatnak, hogy az urbanizáció hatására megnő az üledék bemosódása a vízfolyásokba és romlik a víz minősége is.

A vízhozam tetőzésének értékét ($r_t - m^3s^{-1}$) empirikus úton lehet megadni:

$$r_t = K \cdot i_{cs} \cdot A$$

ahol K a lefolyási együttható (dimenzió nélküli), amely a vízmérleg lefolyási összetevőjének a lehullott csapadékhoz viszonyított arányát adja meg, i_{cs} a csapadéki intenzitás (mmh^{-1}) és A a vízgyűjtő terület nagysága (ha). A K nem ismert mindig pontosan, de az 1. táblázat alapján behatárolhatók a különböző felületekhez tartozó értékek.

1. táblázat. A lefolyási együttható (K) értékei városi területeken
(Landsberg, 1981; Kuttler, 1998a)

Landsberg (1981) szerint			
felület (sík)	K	beépítettség jellege	átlagos K
pázsit: – homokos talaj	0,05–0,10	beépítetlen terület	0,10–0,30
– agyagos talaj	0,10–0,20		
parkok	0,10–0,25	elővárosi lakóterület	0,25–0,40
aszfalt vagy beton felület	0,70–0,95	városi családházak terület	0,30–0,50
tetőfelület	0,75–0,95	blokkházak terület	0,50–0,70
		üzleti központ	0,70–0,95
		ipari terület: – könnyű – nehéz	0,50–0,80
			0,60–0,90

Kuttler (1998a) szerint			
<i>felület (sík)</i>	<i>K</i>	<i>beépítettség jellege</i>	<i>átlagos K</i>
tető- és utcafelület	0,85–1,00	nagyon sűrű	0,7–0,9
szorosan lerakott kövezet	0,80–1,00	zárt	0,5–0,9
lazábban lerakott kövezet	0,50–0,70	nyitott	0,3–0,5
országúti és mozaik kövezet	0,40–0,60	külvárosi negyed sok kerttel	0,2–0,3
sétány útfelület	0,15–0,30	beépítetlen terület	0,1–0,2
nem szilárd felület	0,10–0,20	sportpálya, vasúti sínek	0,1–0,2
park- és kertfelület	0,00–0,10	park	0,0–0,1

Lejtősebb felszínekre természetesen nagyobb K együtthatók érvényesek. A növekedés mértéke függ a vízátnemeresztés fokától és nagyjából 0,10–0,30 közé esik.

A vízhozam tetőzési idejének bekövetkezése a csapadékhullás után (t) szintén egy fontos mutató, amelynek általános függvényformája a következő:

$$\tau = f(\log d/s^{0,5})$$

ahol d a vízfolyás távolsága a lefolyási területtől és s a lejtőmeredekség indexe. Az f függvény aktuális értékeit esetenként szintén empirikusan lehet meghatározni.

Amennyiben a talajvízképződést is figyelembe vesszük, valamint a párolgási tényezőt is résztenyezőkre bontjuk, akkor a (2) egyenlet tovább finomodik:

$$p + F + I = (T + E + i) + f + k + \Delta r + \Delta S + \Delta A$$

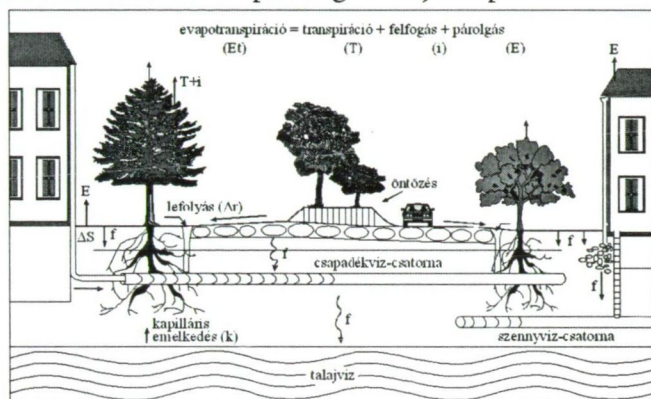
ahol T – a transpiráció, E – a párolgás, i – a felületeken történő vízfelfogódás (intercepció), ami később elpárolog, f – a talajba történő átszivárgás és k – a kapilláris emelkedés a talajvízből (6. ábra).

A felszínek elhelyezkedése szerint jelentékeny különbségek lehetnek a vízháztartás tényezői között. Például egy belvárosi zöldterület – ha teheti – az ottani magasabb hőmérséklet kialakulása miatt éves szinten kb. 10–40 mm-rel több vizet párologtat el, mint egy hasonló, a városon kívül fekvő zöldterület. A különbség a növényzet rendelkezésére álló vízmennyiség növekedésével párhuzamosan nagyobbodik (pl. öntözés révén).

Általában a beépített területeken alacsony az evapotranspiráció. A 2. táblázat a beépítettség foka és a tényleges párolgás éves értékei közötti összefüggést szemlélteti. A táblázat szerint, amíg a rétek 600, az erdők 500 és a mezőgazdasági földek évente 410 mm vizet párologtatnak el, addig ez 50%-os beépítettségénél 230 mm-re, 90%-os beépítettségénél pedig 120 mm-re csökken.

A beépített terület arányán kívül a felület borítása és a köztük lévő rések aránya is hatással van a párolgás, valamint a felfogás nagyságára. Például – a Ruhr-vidéken végzett vizsgálatok szerint – a csekély kiterjedésű résekkel rendelkező felületekről az év

melegebb időszakában (április-szeptember) csak 70–90 mm kerül a légkörbe, ahol pedig magas ez a részarány és nagy a felfogási kapacitás, ez az érték a 120 mm-t is meghaladja. A városi felszínnek erős beépítettsége a talajvízképződés csökkenését okozza.



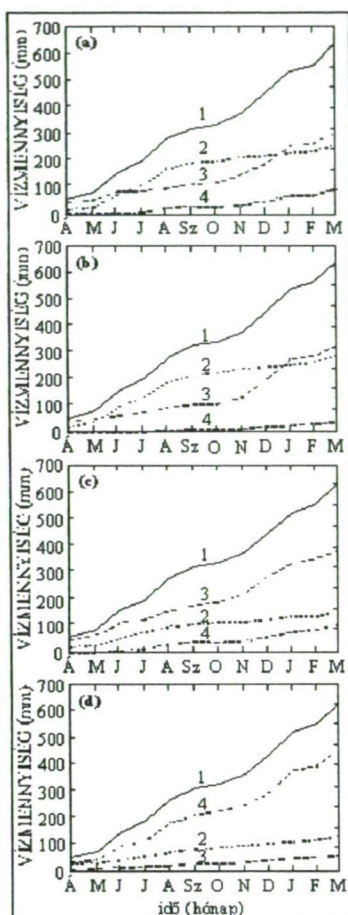
6. ábra. A városi felszíni réteg vízháztartásának részletes összetevői és mozgásuk iránya (Wessolek und Renger, 1998 alapján)

A korábban említettek szerint a lehulló esővíz gyorsan lefolyik az utcákról, a terekről és az épületekről a kiépített csatornarendszer segítségével, tehát nagyobb része nem szivárog be a talajba, mint természetes környezetben. Csökken a vízutánpótlás a talajvíz irányába és ez hozzájárul annak szintsüllyedéséhez. Tehát a városi talaj elveszíti a vízháztartás szabályozásában betöltött fontos szerepét.

2. táblázat. Az éves vízmérleg összetevői a felszín típusának, a talaj fajtájának és a beépítettség fokának függvényében (Berlin körzete) (Wessolek und Renger, 1998)

Felszíntípus	Talajfajta	Beépítettség foka (%)	p (mm/év)	I (mm/év)	E (mm/év)	Δr (mm/év)	Tvk (mm/év)
rét, legelő	láros	–	580	–	600	–	–20
erdeifenyő, tölgyerdő	homok	–	580	–	500	–	80
kiskert, park	homok	–	580	120	470	–	230
szántó, mg.-i (öntözés nélkül)	homokos	–	580	–	410	–	170
	agyag	–	580	–	380	–	200
beépített	homok	50	580	–	230	240	120
beépített	erősen homokos agyag	90	580	–	120	390	70

Tvk – talajvízképződés



A városon belül a felszínborítottság minőségi különbségei is igen változatossá tehetik a vízmérleg összetevőinek arányát (7. ábra).

Az ábrán szereplő felületek egymáshoz közel helyezkedtek el, ezért az éves csapadékösszegük hasonló értékű (640 mm). A gyepes-rácsoskő felület mutatja a legnagyobb tényleges éves párolgást (280 mm), amelyet a járda műköves felülete (250 mm), a parkoló betonlapos felülete (150 mm) követ. Az aszfalt esetében mindössze 120 mm a párolgás. Ez utóbbinál az átszivárgás gyakorlatilag csak a felületet határoló köszegély mentén lép fel, és így eléggé jelentéktelen (40 mm), vagyis a csapadék kb. 3/4 része (480 mm) elfolyik ezen a felületen. Nagyobb átszivárgásra a szélesebb köztes részeknél lehet számítani. Ennek megfelelően a többi három borítástípus esetében az átszivárgás a részek jelenléte miatt 300 mm körüli értékeket mutat. Az évszakos meneteket vizsgálva észrevehető, hogy a gyepes-rácsoskő felületnél nyáron az átszivárgás meglehetősen korlátozott. Ennél a típusnál a lefolyás mennyisége is kicsi (30 mm), mivel a fű és a kő kisleptékű váltakozása jó vízmegkötést biztosít. A járdán (műkő) és a parkolóban (betonlap) a lefolyás 85–105 mm között változik, ami az éves csapadékösszeg 13–17%-át jelenti.

7. ábra. A vízháztartás tényezőinek összegzett éves menete négy különböző borítottsággal rendelkező beépített városi felszínen Berlinben

(1: csapadék, 2: átszivárgás, 3: evapotranspiráció, 4: lefolyás) (Wessolek und Renger, 1998 után)

Irodalom

- Landsberg, H. E., 1981: Urban hidrology. In: *The urban climate*. Academic Press, New York-London-Toronto-Sydney-San Francisco, 211–222.
- Kuttler, W., 1998a: Städtische Oberflächenstruktur. In: Hupfer, P. und Kuttler, W. (eds): *Witterung und Klima*. Teubner, Stuttgart-Leipzig, 331–334.
- Kuttler, W., 1998b: Stadtklima. In: Sukopp, H. und Wittig, R. (eds): *Stadtökologie*. Gustav Fischer, Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm, 186–200.
- Oke, T. R., 1987: Energy and water balance of a building-air volume. In: *Boundary layer climates*. Routledge, London-New York, 274–279.
- Wessolek, G. und Renger, M., 1998: Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt. In: Sukopp, H. und Wittig, R. (eds): *Stadtökologie*. Gustav Fischer, Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm, 186–200.